УДК 625.72

***О.І. Повзун[1], С.В. Кононихін[1], Т.В. Горячева[1], Л.С. Ляхова[2] , П.С. Керніс[1]***
[1]Красноармійський індустріальний інститут
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, Донецька обл., 85302, Україна
[2]Донецький державний університет управління (ДонДУУ)
вул. Челюскінців, 163а, м. Донецьк, 83015, Україна

# Математичне моделювання оптимізації системи «дьоготь – полімер – деревний гідролізний лігнін»

***A.I. Povzun[1], S.V. Kononyhin[1], T.V. Goryacheva[1], L.S. Lyakhova[2], P.S. Kernis[1]***
*[1]Krasnoarmeysk Industrial Institute SHEI «Donetsk National Technical University» (KII DonNTU)*
*area Shibankova, 2, Krasnoarmeysk, Donetsk region, 85302, Ukraine*
*[2] Donetsk State University of Management (DonSUM)*
*str. Cheluskintsev,163a, Donetsk,83015, Ukraine*

# *Mathematical Modelling System Optimization «Tar-Polymer-Wood Hydrolytic Lignin»*

***А.И. Повзун[1], С.В. Кононыхин[1], Т.В. Горячева[1], Л.С. Ляхова[2], П.С. Кернис[1]***
[1]Красноармейский индустриальный институт
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (КИИ ДонНТУ)
пл. Шибанкова, 2 , г. Красноармейск, Донецкая обл., 85302, Украина
[2]Донецкий государственный университет управления (ДонГУУ)
ул. Челюскинцев,163а, г. Донецк, 83015, Украина

# Математическое моделирование оптимизации системы «деготь – полимер – древесный гидролизный лигнин»

У статті подана розроблена математична модель оптимізації системи «дьоготь – полімер (полівінілхлорид, полістирол) – деревний гідролізний лігнін». Здобуто оптимальні концентраційні співвідношення між компонентами, що складають систему, за допомогою методів математичного планування експерименту.
**Ключові слова:** модель математична, параметри оптимізації, функція відклику.

In the article the mathematical model of optimization of the system "tar - polymer (polyvinylchloride, polystyrol) – wood hydrolytic lignin". The obtained optimal concentration relations between components of the system components using the methods of mathematical planning of experiment.
**Key words:** mathematical model, optimization parameters, response function.

В статье изложена разработанная математическая модель оптимизации системы «деготь – полимер (поливинилхлорид, полистирол) – древесный гидролизный лигнин». Получены оптимальные концентрационные соотношения между составляющими систему компонентами с помощью методов математического планирования эксперимента.
**Ключевые слова:** модель математическая, параметры оптимизации, функция отклика.

Кам’яновугільні дьогті є слабко концентрованими суспензіями (α- і β-фракція в суміші низькомолекулярних ароматичних вуглеводнів), для яких характерна невисока в’язкість, низька когезія, відсутність еластичності, схильність до інтенсивного старіння [1]. Ефективним заходом поліпшення якості є їх фізико-хімічна модифікація полімерами, а також одночасна дія на дисперсну фазу і дисперсійне середовище органічних в’яжучих коксохімічного виробництва комплексними добавками, що містять полімери (полівінілхлорид, полістирол), які суміщаються з ними, та активні дисперсні наповнювачі [2], [3].

Як параметри оптимізації дьогтеполівінілхлоридної системи [4] було прийнято:

- температуру розм'якшення (не менше 34°С);
- температуру крихкості (не вище 13°С);
- інтервал пластичності (не менше 47°С);
- еластичність (понад 45°С).

Регресійний аналіз виконано за програмою мовою MathCAD з використанням пакета SURFER for Windows. Аналіз діаграм дозволив апроксимувати криву температури розм'якшення поліномом другого ступеня, а криві температури крихкості і еластичності описати неповним поліномом третього ступеня ($Y_1$, $Y_2$, $Y_3$). Здобуто такі рівняння регресії [4]:

$$Y_1 = 32{,}51 + 6{,}115\cdot x_1 + 7{,}796\cdot x_2 - 0{,}266\cdot x_1\cdot x_2 + 0{,}1609\cdot x_1^2 - 1{,}331\cdot x_2^2$$

$$Y_2 = -15{,}34 + 3{,}094\cdot x_1 + 1{,}978\cdot x_2 + 0{,}912\cdot x_1\cdot x_2 + 1{,}156\cdot x_1^2 + 1{,}57\cdot x_2^2 + 1{,}031\cdot x_1\cdot x_2^2$$

$$Y_3 = 68{,}19 - 17{,}0\cdot x_1\cdot x_2 - 19{,}34\cdot x_1^2 - 11{,}47\cdot x_2^2 - 16{,}98\cdot x_1^2\cdot x_2 - 18{,}19\cdot x_1^3 + 8{,}67\cdot x_2^3.$$

Встановлено, що оптимальною консистенцією середовища, яке модифікується, є в'язкість $C_{30}^{10}$ = 150 – 200 с, а оптимальна концентрація полівінілхлориду становить 1,5 – 2,0 % [4].

Суміщати полістирол з кам'яновугільним дьогтем слід при температурі 105 – 110°С впродовж 40 – 50 хвилин [5]. Оптимальною в'язкістю вихідної сировини є в'язкість $C_{50}^{10}$ = 10 – 30 с, а раціональний вміст полістиролу має бути 0,5 – 2,0 % [6].

Рідкі кам'яновугільні дьогті, у яких енергія теплового руху дисперсійного середовища (γ – фракція) дорівнює або більше енергії зв'язку у вузлах макромолекулярної сітки, що утворена за рахунок механічного зачеплення і переплетіння надмолекулярних структур полістиролу (неполярного полімеру), слід зміцнювати ліофільними наповнювачами, наприклад, пеком, сажею, молотими довгополуменевим вугіллям, деревним гідролізним лігніном, золою-виносу ТЕЦ або окислювати [7].

В роботі [8] доведено, що деревний гідролізний лігнін має високу здатність, що структурує, дьогтеполімерних в'яжучих. На комплексні кам'яновугільні композиції впливають такі фактори: в'язкість вихідного дьогтю; концентрація полімеру; концентрація наповнювача.

Комплексні в'яжучі є складними сполуками. Тому виникає необхідність їх оптимізації за допомогою методів математичного планування експерименту зі здобуттям необхідних їх фізико – механічних властивостей.

В даній роботі як об'єкт дослідження було прийнято:

– середовище, що модифікується, – кам'яновугільні дьогті – складені з середньо температурного пеку і антраценового масла;

– полімери – первинні відходи виробництва полівінілхлориду (ПВХ) Дніпродзержинського об'єднання «Азот» з молекулярною масою $12\cdot10^4$ в.о і розміром часток $(6{,}3 - 63)\cdot10^{-5}$м і полістиролу (ПС) ВАТ «Концерн «Стирол» (м. Горлівка Донецької області) з молекулярною масою $9\cdot10^4$ в.о і частками розміром менше $6{,}3\cdot10^{-5}$м.

– наповнювач – деревний гідролізний лігнін (ДГЛ) Бобруйського гідролізного заводу (Білорусь) – відхід спиртового і дріжджового виробництва, який одержують у вигляді осаду хвойних и листяних порід деревини методом гідролізу (розбавленою сірчаною кислотою).

Комплексне кам'яновугільне в'яжуче готували суміщенням кам'яновугільних дьогтів з полімером при температурі 115 – 125°С впродовж 30 хвилин [8]. Потім додавали порошкоподібний деревний гідролізний лігнін і ще перемішували 30 хвилин.

Для оптимізації системи «дьоготь – полімер – деревний гідролізний лігнін» було використано композиційний несиметричний план [9] на трьох цілочисельних рівнях (–1; 0; +1) з коефіцієнтом кореляції $r_{i,j} \le 0{,}10$, де i,j = 1,23.

Оптимальні склади систем «дьоготь – ПВХ – ДГЛ» і «дьоготь – ПС – ДГЛ» визначали як оптимальні області допустимих значень факторів $X_1$, $X_2$, $X_3$ (табл. 1).

Таблиця 1 – Значення варійованих факторів

| № з.п. | Система | | | Фізичний зміст фактора | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Умовна в’язкість дьогтю по $C_{30}^{10}$, с | Масова концентрація полімеру, % | Масова концентрація наповнювача, % |
| | | | | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |
| 1 | Дьоготь-ПВХ-ДГЛ | Інтервал варіювання | | 100 | 1 | 20 |
| | | Рівні фактора | -1<br>0<br>+1 | 50<br>150<br>250 | 0<br>1<br>2 | 0<br>20<br>40 |
| 2 | Дьоготь-ПС-ДГЛ | Інтервал варіювання | | 100 | 2,5 | 20 |
| | | Рівні фактора | -1<br>0<br>+1 | 50<br>150<br>250 | 0<br>2,5<br>5 | 0<br>20<br>40 |

Ці оптимальні області обмежені поверхнями рівня функції відклику з кожного з параметрів оптимізації (табл. 2).

Таблиця 2 – Параметри оптимізації системи

| № з.п. | Код параметра оптимізації | Фізичний зміст параметра оптимізації | Одиниці виміру | Граничні значення функції відклику |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $Y_1$ | Оптимальний вміст в’яжучого в суміші (в перерахунку на дьоготь) | % | Не більше 8,5 |
| 2 | $Y_2$ | Температура розм’якшення | $^oC$ | Не менше 33 |
| 3 | $Y_3$ | Еластичність при $0^oC$ | % | Не менше 30 |
| 4 | $Y_4$ | Границя міцності при стиску при $20^oC$ | МПа | Не менше 2,5 |
| 5 | $Y_5$ | Границя міцності при стиску при $50^oC$ | МПа | Не менше 1,0 |
| 6 | $Y_6$ | Границя міцності при стиску при $0^oC$ | МПа | Не більше 12,0 |
| 7 | $Y_7$ | Коефіцієнт водостійкості при довготривалому водонасиченні | - | Не менше 0,8 |
| 8 | $Y_8$ | Відношення границі зсувової міцності до напруження сталої течії | - | 1,1 – 1,4 |

Матриця планування експерименту подана в табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця планування

| № з.п. | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ |
|---|---|---|---|
| 1 | -1 | -1 | -1 |
| 2 | 0 | -1 | 0 |
| 3 | 1 | -1 | 1 |
| 4 | -1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 1 |
| 6 | 1 | 0 | -1 |
| 7 | -1 | 1 | 1 |
| 8 | 0 | 1 | -1 |
| 9 | 1 | 1 | 0 |
| 10 | -1 | -1 | 1 |
| 11 | 1 | -1 | -1 |
| 12 | -1 | 1 | -1 |
| 13 | 1 | 1 | 1 |

Загальний вид функції відклику являє собою рівняння другого порядку. Це рівняння характеризується такими статистичними параметрами: дисперсія адекватності S = 0,016; коефіцієнт варіації ö = 2,34%; кореляційне відношення КВ = 0,984.

Здобуто такі рівняння регресії:

**Система «дьоготь – ПВХ – ДГЛ»**

$Y_1 = 8{,}239 + 0{,}217 \cdot X_1 + 0{,}094 \cdot X_2 + 1{,}992 \cdot X_3 + 0{,}076 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0{,}055 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0{,}071 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0{,}133 \cdot X_1^2 + 0{,}020 \cdot X_2^2 + 0{,}986 \cdot X_3^2$;

$Y_2 = 28{,}335 + 3{,}812 \cdot X_1 + 4{,}931 \cdot X_2 + 6{,}950 \cdot X_3 - 1{,}501 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0{,}309 \cdot X_1 \cdot X_3 - 2{,}115 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0{,}674 \cdot X_1^2 - 0{,}079 \cdot X_2^2 - 1{,}453 \cdot X_3^2$;

$Y_3 = 13{,}572 + 3{,}016 \cdot X_1 + 24{,}575 \cdot X_2 - 10{,}111 \cdot X_3 + 1{,}112 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1{,}755 \cdot X_1 \cdot X_3 - 8{,}160 \cdot X_2 \cdot X_3 + 4{,}394 \cdot X_1^2 + 1{,}192 \cdot X_2^2 + 7{,}870 \cdot X_3^2$;

$Y_4 = 2{,}751 + 0{,}311 \cdot X_1 + 0{,}693 \cdot X_2 + 0{,}592 \cdot X_3 - 0{,}122 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0{,}154 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0{,}186 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0{,}113 \cdot X_1^2 + 0{,}098 \cdot X_2^2 - 0{,}131 \cdot X_3^2$;

$Y_5 = 0{,}938 + 0{,}060 \cdot X_1 + 0{,}274 \cdot X_2 + 0{,}158 \cdot X_3 + 0{,}001 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0{,}016 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0{,}102 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0{,}012 \cdot X_1^2 - 0{,}343 \cdot X_2^2 - 0{,}050 \cdot X_3^2$;

$Y_6 = 9{,}061 + 1{,}367 \cdot X_1 + 1{,}838 \cdot X_2 + 2{,}324 \cdot X_3 - 0{,}343 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0{,}524 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0{,}326 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0{,}611 \cdot X_1^2 - 0{,}460 \cdot X_2^2 - 0{,}759 \cdot X_3^2$;

$Y_7 = 0{,}809 + 0{,}032 \cdot X_1 + 0{,}085 \cdot X_2 + 0{,}023 \cdot X_3 - 0{,}024 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0{,}006 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0{,}001 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0{,}027 \cdot X_1^2 - 0{,}349 \cdot X_2^2 - 0{,}023 \cdot X_3^2$;

$Y_8 = 11{,}258 + 0{,}0 \cdot X_1 + 0{,}108 \cdot X_2 + 0{,}157 \cdot X_3 - 0{,}033 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0{,}0 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0{,}094 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0{,}133 \cdot X_1^2 - 0{,}0 \cdot X_2^2 - 0{,}0 \cdot X_3^2$.

**Система «дьоготь – ПС – ДГЛ»**

$Y_1 = 8{,}062 + 0{,}161 \cdot X_1 - 0{,}051 \cdot X_2 + 2{,}087 \cdot X_3 + 0{,}031 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0{,}012 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0{,}007 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0{,}176 \cdot X_1^2 + 0{,}216 \cdot X_2^2 + 0{,}738 \cdot X_3^2$;

$Y_2 = 33{,}801 + 4{,}413 \cdot X_1 + 4{,}497 \cdot X_2 + 7{,}634 \cdot X_3 - 1{,}343 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0{,}966 \cdot X_1 \cdot X_3 - 1{,}133 \cdot X_2 \cdot X_3 - 4{,}973 \cdot X_1^2 + 0{,}443 \cdot X_2^2 - 5{,}211 \cdot X_3^2$;

$Y_3 = 33{,}831 + 0{,}462 \cdot X_1 + 21{,}069 \cdot X_2 - 1{,}093 \cdot X_3 + 0{,}929 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1{,}691 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0{,}620 \cdot X_2 \cdot X_3 + 1{,}876 \cdot X_1^2 - 11{,}088 \cdot X_2^2 - 3{,}969 \cdot X_3^2$;

$Y_4 = 2{,}736 + 0{,}383 \cdot X_1 + 0{,}570 \cdot X_2 + 0{,}486 \cdot X_3 + 0{,}056 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0{,}096 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0{,}066 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0{,}255 \cdot X_1^2 + 0{,}079 \cdot X_2^2 - 0{,}101 \cdot X_3^2$;

$Y_5 = 0{,}918 + 0{,}092 \cdot X_1 + 0{,}198 \cdot X_2 + 0{,}149 \cdot X_3 + 0{,}033 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0{,}059 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0{,}076\ X_2 \cdot X_3 - 0{,}016 \cdot X_1^2 - 0{,}124 \cdot X_2^2 - 0{,}012 \cdot X_3^2$;

$Y_6 = 9{,}325 + 1{,}538 \cdot X_1 + 2{,}139 \cdot X_2 + 1{,}723 \cdot X_3 - 0{,}277 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0{,}108 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0{,}180 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1{,}365 \cdot X_1^2 - 0{,}459 \cdot X_2^2 + 0{,}031 \cdot X_3^2$;

$Y_7 = 0{,}826 + 0{,}016 \cdot X_1 + 0{,}086 \cdot X_2 + 0{,}051 \cdot X_3 - 0{,}040 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0{,}006 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0{,}025 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0{,}08 \cdot X_1^2 - 0{,}045 \cdot X_2^2 - 0{,}002 \cdot X_3^2$.

Рівняння регресії перевірено на адекватність, і вони відповідають критерію Фішера.

Для визначення спрямування обмеження для кожної функції відклику в допустимій області було прийнято значення, близьке до граничного. За програмою для зазначених двох величин кожного з параметрів оптимізації $Y_1 – Y_8$ було обчислено значення факторів $X_1$, $X_2$, $X_3$, які задовольняють рівнянням функції відклику для кожної системи. Послідовно фіксували один з факторів на рівнях: –1; –0,5; 0; 1,0. Іншому фактору було надано фіксовані значення з тим самим інтервалом і було визначено третього фактора як корені рівнянь, що задовольняють функції відклику.

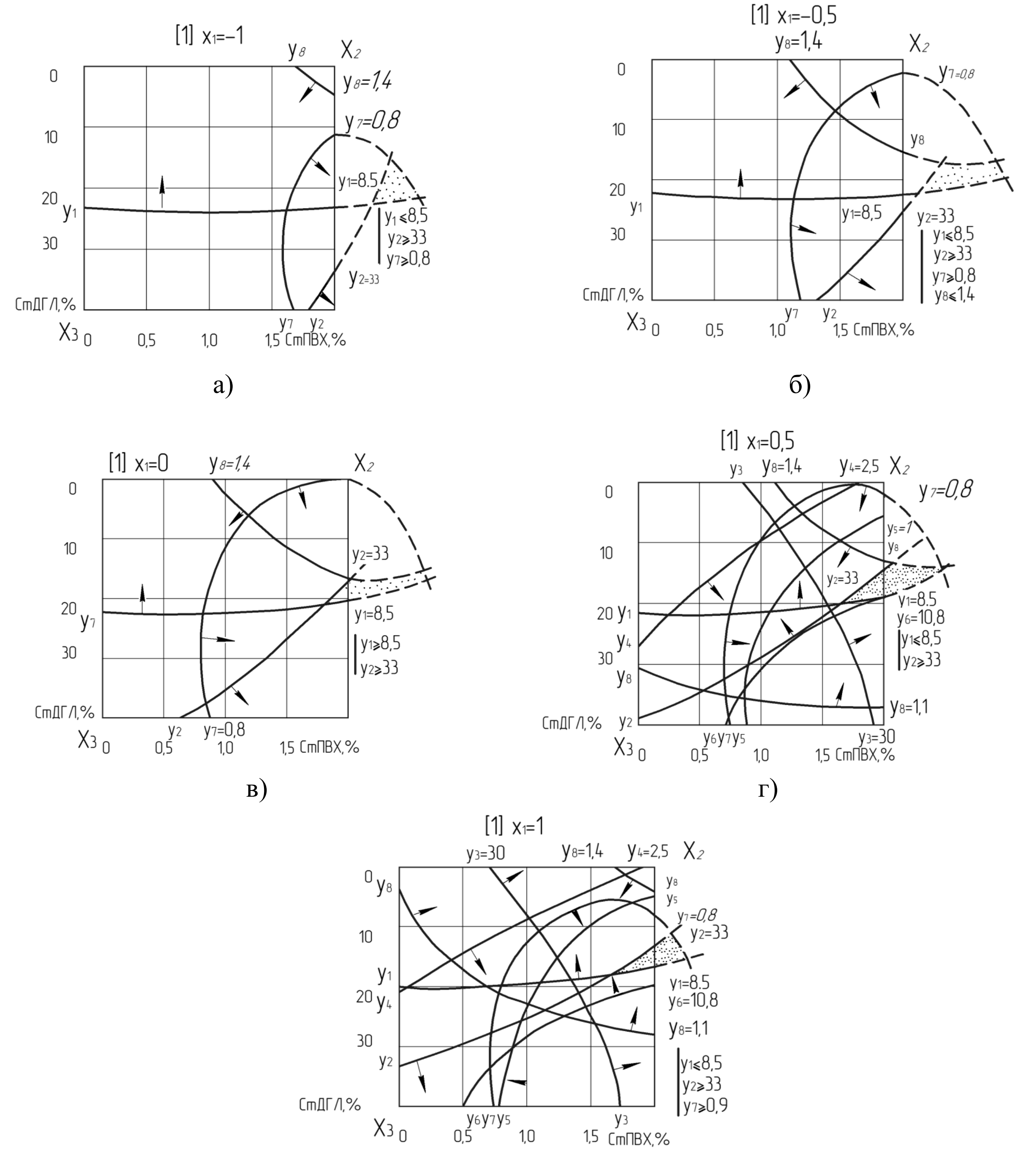



Рисунок 1 — Площини рівнів систем:
а) дьоготь $C_{30}^{10} = 50c - ПВХ - ДГЛ$;
б) дьоготь $C_{30}^{10} = 100c - ПВХ - ДГЛ$;
в) дьоготь $C_{30}^{10} = 150c - ПВХ - ДГЛ$;
г) дьоготь $C_{30}^{10} = 200c - ПВХ - ДГЛ$;
д) дьоготь $C_{30}^{10} = 250c - ПВХ - ДГЛ$

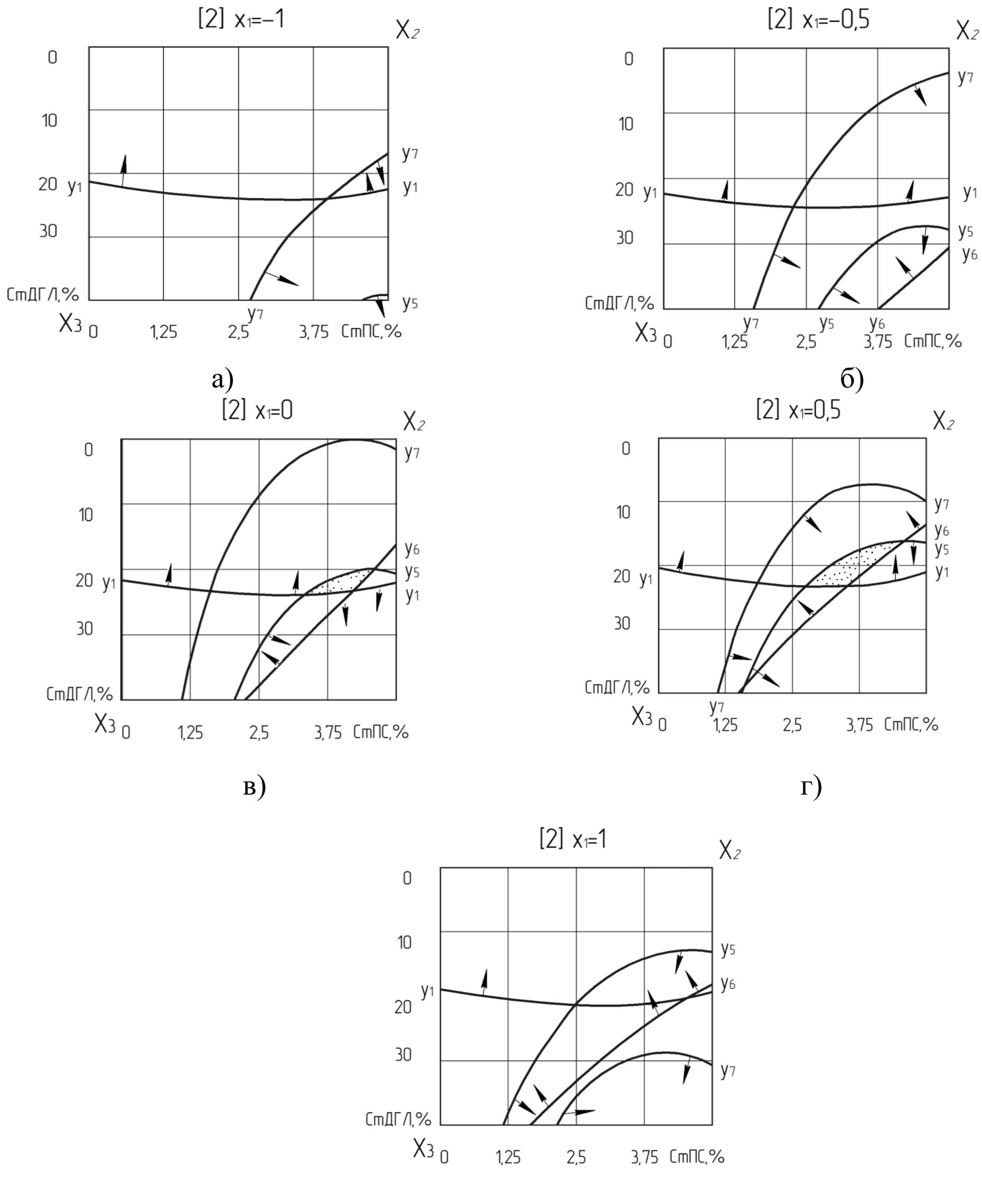
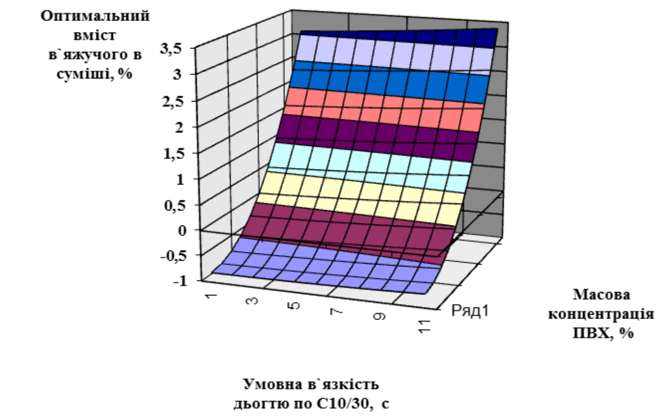
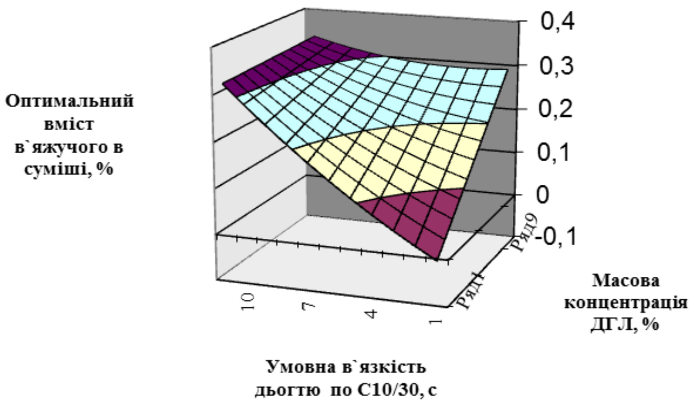


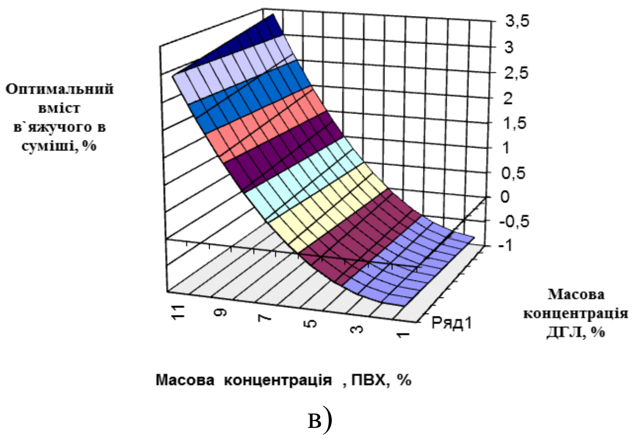

Рисунок 2.– Площини рівнів систем:
а) дьоготь $C_{30}^{10} = 50c - ПС - ДГЛ$;
б) дьоготь $C_{30}^{10} = 100c - ПС - ДГЛ$;
в) дьоготь $C_{30}^{10} = 150c - ПС - ДГЛ$;
г) дьоготь $C_{30}^{10} = 200c - ПС - ДГЛ$;
д) дьоготь $C_{30}^{10} = 250c - ПС - ДГЛ$




а)

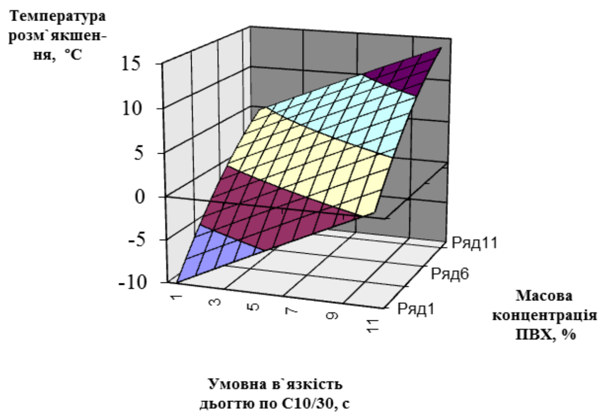



б)

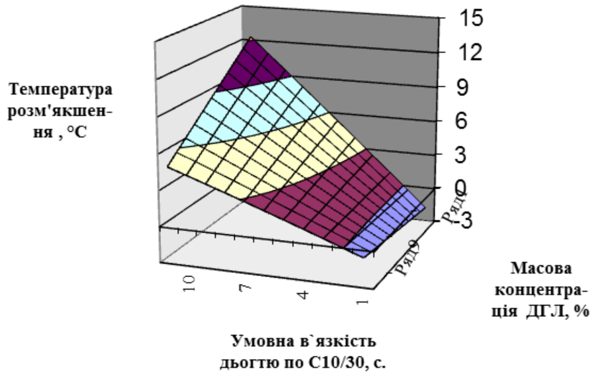



в)

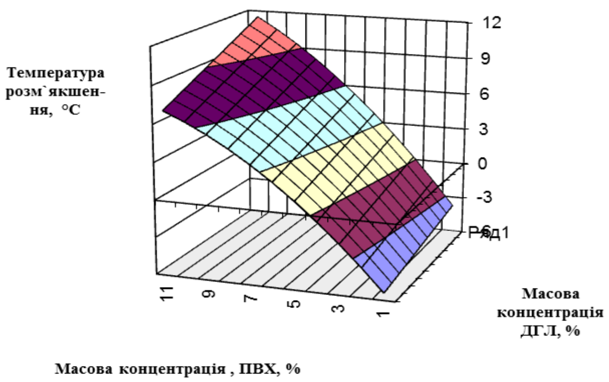
Рисунок 3 – Діаграма оптимальний вміст в'яжучого в суміші (в перерахунку на дьоготь) – :
а) умовна в'язкість дьогтю по $C_{30}^{10}$ і масова концентрація ПВХ;
б) умовна в'язкість дьогтю по $C_{30}^{10}$ і масова концентрація ДГЛ;
в) масові концентрації ПВХ і ДГЛ.




а)




б)




в)

Рисунок 4 – Діаграма температура розм'якшення – :

а) умовна в'язкість дьогтю по $C^{10}_{30}$ і масова концентрація ПВХ;

б) умовна в'язкість дьогтю по $C^{10}_{30}$ і масова концентрація ДГЛ;

в) масові концентрації ПВХ і ДГЛ.

Рівняння $Y = f(X_1, X_2, X_3)$ функції відклику, що пов'язує варійовані $X_1, X_2, X_3$, за суттю є рівняння гіперболічної поверхні другого порядку в чотиримірному просторі $Y, X_1, X_2, X_3$. Фіксуючи значення $Y$, одержуємо поверхню рівня функції відклику в просторі факторів $X_1, X_2, X_3$. Потім, фіксуючи значення фактора, наприклад, $X_1$, маємо лінії рівня функції відклику на площині варійованих $X_2, X_3$.

Порівнюючи між собою положення ліній рівня для граничного і приграничного допустимих значень параметра оптимізації, було визначено допустимі області значень факторів за певним параметром оптимізації. Потім було зведено в одну площину рівня орієнтовані лінії рівня кожного з параметрів оптимізації, що дає можливість виділити в ній допустиму область і з'ясувати, які параметри оптимізації її обмежують (рис. 1, 2).

Для параметрів оптимізації, що обмежують допустиму область, всі п'ять площин рівня з побудованими лініями рівня було об'єднано в плановій аксонометричній проекції. Порівнюючи між собою одержані поверхні рівня параметрів оптимізації, що обмежують допустиму область, було побудовано лінії перетину цих поверхонь між собою, а потім у вигляді об'єму було виділено область допустимих значень факторів, які оптимізують склад системи. Встановлено, що для системи «дьоготь – ПС – ДГЛ» обмежуючими параметрами оптимізації є $Y_1$, $Y_2$, $Y_5$ та $Y_6$ (рис. 2), а для системи «дьоготь – ПВХ – ДГЛ» – $Y_1$ та $Y_2$ (рис. 1). Аналіз діаграм функцій відклику, наприклад, $Y_1$ (рис. 3) та $Y_2$ (рис. 4) доводить, що оптимальний вміст в'яжучого в суміші майже не залежить від умовної в'язкості дьогтю (рис. 3, а), але значно залежить від концентрації полівінілхлориду (рис. 3,а, в). В разі низької умовної в'язкості дьогтю деревний гідролізний лігнін суттєво впливає на оптимальний вміст в'яжучого в суміші і майже не вливає на нього для підвищеної в'язкості дьогтю (рис. 3, б).

Зростання умовної в'язкості дьогтю і концентрації полівінілхлориду призводить до збільшення температури розм'якшення рівнозначно (рис. 4, а). Підвищення концентрації деревного гідролізного лігніну в малов'язких дьогтях майже не впливає на температуру розм'якшення, а для дьогтю підвищеної в'язкості спостерігається її помітне підвищення (рис. 4, б, в). В системі «дьоготь – ПВХ – ДГЛ» лише при умовній в'язкості С = 130 – 250 с (рис. 1) спостерігаються оптимальні області концентрації полімеру і наповнювача при граничних значеннях прийнятих факторів. Вміст полімеру в дьогті понад 2% за масою призводить до перенасичення розчину (дьоготь – ПВХ). Набряклі частки ПВХ, які виділяються з розчину, є додатковими вузлами зшивання просторової сітки, що обумовлює зміцнення системи. При цьому, чим менше в'язкість модифікованого дьогтю, тим інтенсивніший тепловий рух і, як наслідок, для зміцнення структури в'яжучого необхідна більша кількість полімеру. Масова концентрація деревного гідролізного лігніну для всіх систем приблизно однакова (20%) і обмежується таким параметром оптимізації, як оптимальний вміст в'яжучого в суміші ($Y_1$).

Оптимальні ж області системи «дьоготь – ПС – ДГЛ» дещо розвинуті і виявляються при в'язкості дьогтю $C_{30}^{10}$ = 150 та $C_{30}^{10}$ = 200 с. В цих системах контакти між частками наповнювача здійснюються за допомогою надмолекулярних структур неполярного полімеру (полістиролу), концентрація якого в рідких системах досягає 5% за масою.

Таким чином, оптимальними складами досліджуваних систем є:

1) дьоготь в'язкістю $C_{30}^{10}$ = 130 – 250 с – 100%; ПВХ – 1,6 – 2,0%; ДГЛ – 13-21%;
2) дьоготь в'язкістю $C_{30}^{10}$ = 125 – 225 с – 100%; ПС – 2,5 – 4,4%; ДГЛ – 16-22%.

## Список літератури

1. Братчун В.И. Об особенностях структуры каменноугольных дорожных дегтей / В.И. Братчун // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – Новосибирск, 1983. – № 8. – С. 65-69.
2. Братчун В.И. Модификация каменноугольных дорожных дегтей комплексными добавками / В.И. Братчун, А.И. Повзун, В.А. Золотарев // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – Новосибирск, 1985. – № 3. – С. 72-76.
3. Оходы производств Донбасса – эффективные модификаторы дорожного бетона / [В.И. Братчун, А.И. Повзун, В.Н. Ходун, С.С. Поливцев, А.В. Полищук, В.А. Беспалов] // Современные проблемы строительства. – Донецк : Изд. ООО «Лебедь», 1997. – С.117-119.
4. Структурообразование в дегтеполивинилхлоридных вяжущих / [В.И. Братчун, С.С. Поливцев, А.И.Повзун, А.В.Полищук] // Сборник трудов по технической химии. – К. : 1997. – С. 380-382.

5. Повзун А.И. Укрепление основания дорожной одежды из горелых пород шахтных терриконов дегтеполистирольным вяжущим / А.И. Повзун, М.Л. Бохан // Геотехнології і охорона праці у гірничій промисловості : Матеріали VI регіональної науково-практичної конференції.- Красноармійськ : КІІ ДонНТУ, 2013. – С. 123-130.
6. Обадін О.В. Оптимізація складу кам’яновугільного в’яжучого для укріплення основ автомобільних доріг з горілих порід // О.В. Обадін, М.Л. Бохан, О.І. Повзун, С.В. Кононихін : Дні науки – 2014 : Матеріали VI регіональної науково-практичної конференції студентів і молодих вчених. – Красноармійськ : КІІ ДонНТУ, 2014. – С. 39-41.
7. Братчун В.И. Направленное регулирование качества каменноугольных вяжущих введением полистирольной пыли / В.И. Братчун, В.А. Золотарев, А.И. Повзун // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». – Новосибирск, 1988. – № 7. – С. 133-137.
8. Братчун В.И. Упрочнение маловязких дегтеполимерных вяжущих древесным гидролизным лигнином / В.И. Братчун, А.И. Повзун, В.А. Золотарев, С.В. Якименко// Известия вузов. Сер «Строительство и архитектура». – Новосибирск, 1987. – №3. – С.60-63.
9. Бродский В.Э. Таблицы планов эксперимента для факторных  и полиномиальных моделей / В.Э Бродский. – М.: Металлургия,  1982. – 752 с.

## References

1. Bratchun V.I. Ob osobennostjah struktury kamennougol'nyh dorozhnyh degtej / V.I. Bratchun // Izvestija vuzov. Ser. «Stroitel'stvo i arhitektura». – Novosibirsk, 1983. – № 8. – S. 65-69.
2. Bratchun V.I. Modifikacija kamennougol'nyh dorozhnyh degtej kompleksnymi dobavkami / V.I. Bratchun, A.I. Povzun, V.A. Zolotarev // Izvestija vuzov. Ser. «Stroitel'stvo i arhitektura». – Novosibirsk, 1985. – № 3. – S. 72-76.
3. Ohody proizvodstv Donbassa – jeffektivnye modifikatory dorozhnogo betona / [V.I. Bratchun, A.I. Povzun, V.N. Hodun, S.S. Polivcev, A.V. Polishhuk, V.A. Bespalov] // Sovremennye problemy stroitel'stva. – Doneck : Izd. OOO «Lebed'», 1997. – S.117-119.
4. Strukturoobrazovanie v degtepolivinilhloridnyh vjazhushhih / [V.I. Bratchun, S.S. Polivcev, A.I.Povzun, A.V.Polishhuk] // Sbornik trudov po tehnicheskoj himii. – K. : 1997. – S. 380-382.
5. Povzun A.I. Ukreplenie osnovanija dorozhnoj odezhdy iz gorelyh porod shahtnyh terrikonov degtepolistirol'nym vjazhushhim / A.I. Povzun, M.L. Bohan // Geotehnologiї i ohorona praci u girnichij promislovosti : Materiali VI regional'noї naukovo-praktichnoї konferencії.-Krasnoarmijs'k : KII DonNTU, 2013. – S. 123-130.
6. Obadin O.V. Optimizacija skladu kam’janovugil'nogo v’jazhuchogo dlja ukriplennja osnov avtomobil'nih dorig z gorilih porid // O.V. Obadin, M.L. Bohan, O.I. Povzun, S.V. Kononihin : Dni nauki – 2014 : Materiali VI regional'noї naukovo-praktichnoї konferencії studentiv i molodih vchenih. – Krasnoarmijs'k : KII DonNTU, 2014. – S. 39-41.
7. Bratchun V.I. Napravlennoe regulirovanie kachestva kamennougol'nyh vjazhushhih vvedeniem polistirol'noj pyli / V.I. Bratchun, V.A. Zolotarev, A.I. Povzun // Izvestija vuzov. Ser. «Stroitel'¬stvo i arhitektura». – Novosibirsk, 1988. – № 7. –  S. 133-137.
8. Bratchun V.I. Uprochnenie malovjazkih degtepolimernyh vjazhushhih drevesnym gidroliznym ligninom / V.I. Bratchun, A.I. Povzun, V.A. Zolotarev, S.V. Jakimenko// Izvestija vuzov. Ser «Stroitel'stvo i arhitektura». – Novosibirsk, 1987. – №3. – S.60-63.
9. Brodskij V.Je. Tablicy planov jeksperimenta dlja faktornyh  i polinomial'nyh modelej / V.Je Brodskij. – M.: Metallurgija,  1982. – 752 s.

***RESUME***

***A.I. Povzun, S.V. Kononyhin, T.V. Goryacheva, L.S. Lyakhova, P.S. Kernis***

## *Mathematical Modelling System Optimization «Tar-Polymer-Wood Hydrolytic Lignin»*

This paper presents a mathematical model of optimization of the system «tar – polymer – hydrolytic wood lignin». On the basis described in work [2] the concept of structuring the tar polymer binders active dispersed fillers optimized integrated coal binders, which consist of low-viscosity coal tar viscosity $C^{10}_{30}$ = 50 – 250 second, polymers (waste production polyvinylchloride, polystyrene) and wood hydrolytic lignin as filler.

Obtained using the methods of mathematical planning of experiment [9] the regression equations are equations of the second order, which verified that are consistent with the Fisher test.

*Статья поступила в редакцию 08.04.2014.*